

POLUIÇÃO DO AR

João Baptista Galvão Filho

Aspectos Técnicos e Econômicos do Meio Ambiente

21/08/89 a 01/09/89

ÍNDICE	
A. Atmosfera da Terra	2
B. Meteorologia e sua Relação com a Poluição do Ar.	2
C. Tipos de poluentes do Ar	4
C.1 Particulados	4
C.2 Gases	
C.3 Líquidos	
D. Fontes de Poluição do Ar	
E. Efeitos da Poluição do Ar	
E.1 Sobre a Saúde	
E.2 Vegetação	
E.3 Materiais	
E.4 Tempo	
F. Métodos de Controle da Poluição do Ar	

A. ATMOSFERA DA TERRA

A Terra é coberta por uma camada de ar de aproximadamente 800 quilômetros de espessura. A força de gravidade atrai aproximadamente 6 quatrilhões de ar para a Terra. Aproximadamente metade desse ar é atraído e se concentra nos primeiros 6 quilômetros do espaço terrestre e mais de 99% de todo o ar se localiza numa faixa de 40 quilômetros. Como se pode perceber, os restantes 760 quilômetros são formados por uma atmosfera extremamente rarefeita.

O ar é invisível, sem odor e sem gosto. É uma mistura de nitrogênio (78,1%), oxigênio (20,9%), variando as quantidades de vapor de água, uma pequena quantidade de dióxido de carbono (0,03%) e outros gases residuais. Na primeira camada desse grande cobertor de ar, vive o homem. O ser humano é dependente desse ar e cada indivíduo respira cerca de 22 mil vezes por dia. Se esse cobertor de ar fosse removido, o homem não sobreviveria mais do que cinco minutos.

Entretanto, o homem pode usar este recurso precioso para descartar a maioria dos seus resíduos ou contaminantes. Se esses contaminantes tiverem efeitos adversos, tais como a diminuição da nossa saúde, redução da visibilidade, danos às plantas e materiais, esses resíduos são chamados de poluentes. A poluição do ar é definida como a presença de um ou mais contaminantes colocados na natureza ou atividades do homem, em quantidades que podem causar dano ao homem, animais, plantas ou propriedades; ou que possam interferir negativamente no bem estar das pessoas, na vida das plantas e animais, no meio físico ou na propriedade. Outra definição conceitual é: poluição do ar é a presença ou lançamento de matéria e energia no ar que possa vir danificar os usos desse recurso natural, previamente definido pela comunidade ou país que o contém. Quando o homem polui sua atmosfera, ele pode causar um dano maior a outros ambientes e não aquele imediato. Alguns poluentes podem percorrer centenas de quilômetros da sua emissão original e interagem com outros poluentes nesse caminho. A atmosfera não é capaz de efetuar uma dispersão imediata do poluente, próximo ao seu lançamento. Somente depois de decorrido algum tempo, e em função das condições meteorológicas, é que estarão mais ou menos distribuídos uniformemente na atmosfera.

B . METEOROLOGIA E SUA RELAÇÃO COM A POLUIÇÃO DO AR

No começo da história do homem, a natureza podia tomar conta das suas próprias poluições naturais, tal como a erupção de um vulcão ou a queima de uma floresta.

Havia ventos suficientes, chuvas e correntes de ar para dispersar estes poluentes. Entretanto, como o homem aumentou o volume dos seus poluentes,

esta auto depuração natural do ar não pode se manter e a poluição aumentou aos níveis atuais.

Vários fatores devem ser levados em conta na determinação do atual estágio do problema da poluição do ar:

1. Tipos e quantidades de poluentes produzido pelas atividades comunitárias;
2. Topografia ;
3. Condições do tempo tais como: velocidade e direção do vento, luz solar, precipitação, nuvens, neblina, umidade relativa, temperatura, o aumento ou diminuição da temperatura do ar com o aumento da altitude, bem como o nível de poluição existente nas massas de ar que chegam ao local de estudo. Você já reparou que o ar pode parecer um dia poluído e outro dia limpo, mesmo sabendo que pode estar ocorrendo a emissão da mesma quantidade de poluentes? Condições de ventos ou precipitações de chuva podem ajudar a dispersão dos poluentes. Entretanto, ventos fracos ou poluições estáveis podem permitir, mesmo com quantidades pequenas de poluentes, o seu acúmulo na atmosfera.

Tempo regular (sistema alto de pressão) e tempestades (sistemas de baixa pressão) usualmente movem-se num padrão de comportamento de oeste para leste com cerca de 30 a 45 quilômetros por hora. A essas velocidades, a maior parte dos poluentes do ar serão diluídos e levados para longe. Entretanto, quando o sistema de alta pressão torna-se estacionário, há muito pouco vento para levar os poluentes para longe.

Os poluentes aumentam quando ocorre uma inversão térmica. Normalmente, a temperatura do ar decresce com o aumento da altitude. Entretanto, durante uma inversa térmica a temperatura do ar aumenta com a altitude. Os poluentes emitidos em condições normais são mais quentes e menos densos que o ar a sua volta. Como resultado, eles sobem e são dispersados. Em uma situação de inversão, os poluentes sobem somente até o ponto onde eles encontram um ar que é mais quente do que eles. Quando essa camada de ar quente esta a baixa altitude, os poluentes se concentram próximo do nível do solo porque não podem penetrar na camada de ar quente.

Existe um tipo de inversão térmica facilmente reconhecível, chamada inversão noturna, que pode ser vista nas manhãs claras e calmas. Este tipo de inversão é formada durante a noite quando o solo perde calor mais rapidamente do que o ar. O solo torna-se mais frio que o ar acima dele e o resfria. Nas manhãs em que essa inversão ocorre, é comum a existência de orvalho, geadas ou neblina. Nesses dias observe a fumaça que sai de uma chaminé ou do escapamento de um carro. Você vai verificar que ela demora para se dispersar. Esta situação usualmente desaparece pelo meio da manhã, em geral depois das 10:00 horas, quando o sol aquece a terra e o calor destrói essa inversão. A topografia pode ter uma influência importante no vento e na dispersão ou acumulação dos poluentes.

Consideremos a cidade em um vale. O ar frio que é formado nas partes altas à noite flui para o fundo do vale pela manhã. Como resultado, o ar próximo do chão estará mais frio que o ar acima dele. Nestes casos, temos a inversão térmica. Existem alguns formatos de topografia que podem ser um efeito variável na poluição do ar. O topo das montanhas geralmente tem melhores condições de vento e nos locais próximos do mar geralmente formam-se as brisas marítimas. Os ventos fortes nos topos das montanhas produzem condições que dispersam os poluentes enquanto que a natureza complexa da brisa marinha pode até resultar em um aumento na concentração dos poluentes.

C. TIPO DE POLUENTES DO AR:

Particulado, Gases e Líquidos.

Os poluentes do ar gerado pelo homem são emitidos diretamente na atmosfera (poluentes primários) ou são formados na atmosfera por reações químicas envolvendo poluentes primários (poluentes secundários). Durante sua transformação química para poluente secundário, o composto químico pode mudar de estado ofensivo para um outro que pode ser danoso em altas concentrações, como por exemplo, óxido para dióxido de nitrogênio. Os poluentes do ar também são produzidos pela natureza. Exemplo: pólenes, poros, bactérias, poeiras do chão, sal marinho, gases e material sólido resultante da erupção vulcânica e fumaça de queima de florestas.

Os poluentes no ar são usualmente divididos em dois grupos maiores: particulados e gases. Recentemente, uma terceira forma de poluição tem sido reconhecida que é o estado líquido.

C.1 PARTICULADOS

Os poluentes são suspensões existentes no ar de substâncias fixas, sólidas e ou líquidas. Existem dois termos para designá-los: partículas e aerossóis. As partículas referem-se somente às substâncias sólidas, os aerossóis podem ser tanto líquidos como substâncias sólidas suspensas no ar. Alguns exemplos de particulados são: fuligem, partículas do solo, gotas oleagionosas, poeiras, névoas ácidas, fumaça, fumos e neblina. Os particulados podem ser produzidos na queima incompleta, moagem, corte, purificação etc.

Na atmosfera, os particulados ocorrem com vários tamanhos e formas. Usualmente eles são classificados em particulados finos, aqueles com diâmetros menor que 2,5 μ m. Os particulados finos são mais importantes, porque podem ser inalados pelo homem e animais e entrar nos pulmões. Nos trabalhos de engenharia ambiental, o particulado fino é aquele abaixo de 10 μ m. Também os

particulados finos (0,3-1,0 μ) são responsáveis pela redução da visibilidade. Os particulados finos são formados primeiramente pela combustão incompleta e/ou reações químicas de poluentes primários na atmosfera. Eles são leves em peso e podem persistir na atmosfera por dias.

Os particulados grosseiros são formados primeiramente pela resuspensão de poeiras do solo, processos de moagem e brisa marítima. Eles causam menos problemas que os particulados finos, uma vez que a gravidade fará sua deposição no solo em poucas horas. Entretanto, aqueles particulados grosseiros que se encontram entre 2,5 a 15 μ em diâmetro podem ser importantes para o ponto de vista de saúde das pessoas com problemas respiratórios e que sempre respiram pela boca. Para pessoas que respiram normalmente pelo nariz, esses particulados não causam problema uma vez que são bloqueados na passagem nasal. Os particulados reduzem a visibilidade e a absorção e dispersão da luz. É o caso do nevoeiro em muitas áreas urbanas que pode causar redução de luz do sol. Também a dispersão de luz, devido aos particulados, pode produzir um céu avermelhado que algumas vezes é visto no nascer ou pôr do sol.

C.2. GASES

O segundo grupo de poluentes do ar é composto de gases. Enquanto somente uma relativa pequena porcentagem de gases na atmosfera é poluente, eles exercem um papel importante porque são perigosos e possuem efeitos desagradáveis. Alguns poluentes gasosos são liberados na atmosfera por meio de processo de combustão, outros são liberados por processo de vaporização (mudança de um líquido para um estado gasoso), ou são formados por reações químicas na atmosfera.

Os principais poluentes gasosos na atmosfera podem ser categorizados como gases contendo: carbono, enxofre, nitrogênio e ozônio.

a) Os gases contendo carbono são os poluentes do tipo monóxido de carbono(CO), hidrocarbonetos, hidrocarbonetos oxigenados. Monóxido de carbono é tóxico, sem cor, sem odor e é resultado da combustão incompleta de combustíveis. Os hidrocarbonetos são uma classe de compostos formados pela combustão incompleta e pela evaporação da gasolina, óleo combustível e solvente. Eles são compostos de carbono e hidrogênio em várias proporções. Os hidrocarbonetos oxigenados são compostos que contêm oxigênio em adição ou carbono e hidrogênio. Alguns deles são formados pela combustão enquanto outros são poluentes secundários, formados de reações químicas entre hidrocarbonetos e oxigênio na presença da luz solar. Muitos dos hidrocarbonetos e hidrocarbonetos oxigenados são carcinogênicos. Um exemplo de hidrocarboneto carcinogênico é o benzeno, existentes em refinarias e petroquímicas.

b) O principal poluente contendo enxofre é o dióxido de enxofre (SO_2). Quando os combustíveis contendo enxofre são queimados, o enxofre tira o oxigênio do ar e produz dióxido de enxofre, o qual, em altas concentrações, é um gás irritante. O dióxido de enxofre reage com os materiais na atmosfera para formar partículas de ácido sulfúrico e partículas de sais de sulfato. O ácido sulfúrico é perigoso e é um poluente altamente corrosivo. É comum, em períodos de estagnação do ar, a formação de dióxido de enxofre e ácido sulfúrico em altas concentrações, produzindo sérios problemas pulmonares. Episódios críticos como em Donora, Pensilvânia em 1948, nos Estados Unidos, e na Inglaterra, em Londres em 1952, causaram altos índices de mortalidade. Na grande São Paulo, em 1976, iniciou-se um processo de atenção e de alerta que denunciava a possibilidade de ocorrência de episódios críticos semelhantes. O controle de grandes quantidades de materiais particulados, cerca de 1500 toneladas por dia, e também dióxido de enxofre possibilitaram uma melhoria acentuada na qualidade do ar na capital paulista.

Os outros poluentes do ar contendo enxofre são mercaptanas (carbono, enxofre e composto de hidrogênio) e sulfato de hidrogênio (H_2S) os quais podem ser produzidos pela decomposição de matéria orgânica. As mercaptanas e o sulfato de hidrogênio não são poluentes comuns mas quando eles estão presentes, podem ser distinguidos pelo seu odor característico de repolho e ovo podre.

c) Os gases contendo hidrogênio são poluentes que incluem o dióxido nítrico e o dióxido de nitrogênio. O óxido nítrico é sem cor, relativamente não perigoso e é produto da queima de combustível a altas temperaturas. Mas ele pode reagir com átomos de oxigênio para formar o dióxido de nitrogênio.

Esta reação ocorre especialmente na presença e condições de formação do "smog" fotoquímico. O dióxido de nitrogênio tem odor ligeiramente doce e cor marrom amarelada. Em concentrações altas, pode parecer marrom. As duas maiores fontes de geração de óxido de nitrogênio são combustão em fontes estacionárias na indústria, na geração de energia, no aquecimento de ambientes e também provenientes dos veículos automotores. Os óxidos de nitrogênio são os principais componentes requeridos na formação do "smog" fotoquímico e da chuva ácida.

Além do óxido nítrico e do dióxido de nitrogênio, existem alguns compostos orgânicos hidrogenados. Um exemplo é o nitrato de peroxi acetila, comumente conhecido como PAN, que é formado de reações químicas e "smog" fotoquímico. O PAN é um fitóxido, isto é, causa danos às plantas.

d) O ozônio é um gás composto de três átomos de oxigênio, enquanto o oxigênio que utilizamos para nossa respiração contém dois átomos de oxigênio. O ozônio é um gás sem cor com um característico cheiro de ar fresco, em geral, percebido durante as trovoadas com tempestades. Ele ocorre na atmosfera naturalmente mas também pode ser formado por reações químicas envolvendo os óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, na presença de luz solar, próximo da superfície da Terra. As reações químicas envolvendo a luz solar são chamadas de reações fotoquímicas.

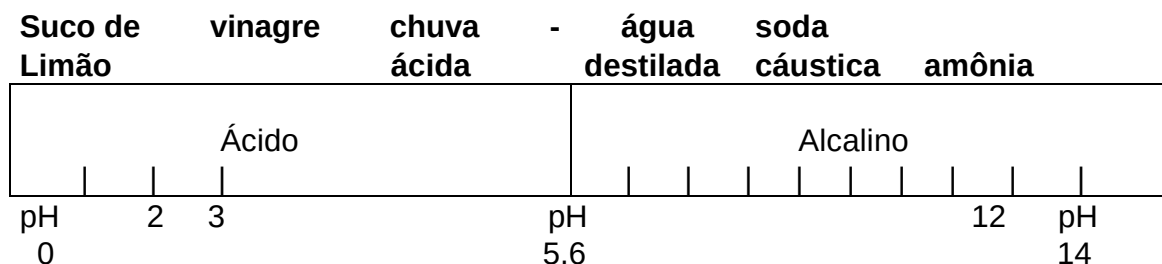
Existem três fontes naturais de ozônio. A principal delas está na estratosfera, onde a produção de ozônio ocorre com a reação fotoquímica da luz ultravioleta com oxigênio. O ozônio estratosférico é freqüentemente trazido da superfície da Terra, por corrente de ar, e pode constituir em uma grande quantidade de ozônio, observado ao nível do solo. O ozônio é também produzido por relâmpago mas como uma fonte menor. Há uma terceira maneira de produção de ozônio: por reações fotoquímicas envolvendo óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos naturalmente emitidos pela vegetação. Exemplos de hidrocarbonetos naturais, são os terpenos que são compostos químicos produzidos pelas árvores coníferas. Essas áreas possuem um odor associado a elas. Em média, o ozônio produzido naturalmente representa mais da metade das concentrações de ozônio medidas.

O ozônio é um constituinte muito importante do "smog" fotoquímico. Durante os meses de verão, quando a luz solar é mais forte, o ozônio produzido pelas reações fotoquímicas pode ser significativamente maior do que aquele produzido por fontes naturais.

C.3. LÍQUIDOS

A chuva ácida ou a precipitação ácida tem recentemente recebido muita atenção devido ao impacto ecológico severo que pode causar em áreas bastante extensas. Em decorrência da combustão de enorme quantidade de combustíveis fósseis tais como carvão e óleo, no Brasil, são descarregadas anualmente na atmosfera milhões de toneladas de compostos de enxofre e óxido de nitrogênio. Através de uma série complexa de reações químicas estes poluentes podem ser convertidos para ácidos os quais podem retornar à terra como componentes de uma chuva.

A acidez é medida em unidades de pH. O símbolo pH representa a concentração de íons hidrogênio carregados eletricamente em uma solução. A escala abaixo mostra o pH de alguns componentes.



A chuva caindo através de uma atmosfera limpa tem pH de 5,6 a 7 unidades de pH. A chuva ácida tem um pH abaixo de 5,6. Em geral, quanto mais baixo o pH, mais poluída e mais corrosiva a chuva se tornará.

Centenas de lagos nos Estados Unidos e na Escandinávia se tornaram tão ácidos que não mais possuem vida aquática. Mais de 90 lagos no Estado de Nova York na região de Adirondacks já não possuem mais peixes devido às condições ácidas. No Brasil, uma das únicas regiões onde se mediu chuva ácida foi em Cubatão e em Santa Catarina na região carbonífera. No centro leste dos Estados Unidos os números de pH chegam aos valores de 4 a 4,2.

A chuva ácida vem contribuindo para destruição dos monumentos de pedras em todo o mundo. Efeitos adversos na agricultura e nas florestas têm sido muito suspeitados mais não foram ainda completamente documentados.

D) FONTES DE POLUIÇÃO DO AR

Os poluentes do ar originam-se principalmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis, para fins de transporte, aquecimento e produção industrial. Entretanto, em adição aos processos de combustão, a poluição do ar é causada por vaporização (a mudança do líquido para o estado gasoso); atrito (operações de redução de tamanhos tais como moagem, corte, perfuração etc); combustão de materiais residuais; reações químicas na atmosfera envolvendo poluentes primários e dando como formação poluentes secundários; e numa menor extensão, fontes naturais tais como polinização e vulcões.

As principais categorias de fontes de poluição do ar feitas pelo homem são: transporte, combustão e fontes estacionárias, processos industriais e resíduos sólidos. Estas fontes são classificadas como fontes móveis e estacionárias.

O nosso sistema de transporte atual se baseia na queima de combustíveis consequentemente, a poluição do ar é um subproduto. Estas fontes de transporte incluem automóveis, ônibus, caminhões, aviões, equipamentos de fazenda, trens, navios etc. Devido ao grande número, os automóveis são a fonte principal desta

categoria. Nos Estados Unidos desde 1963, quando o sistema de ventilação positiva do carter foi instalada, os automóveis têm sido projetados com equipamento de controle da poluição do ar proporcionando uma diminuição das emissões dos tanques de gasolina, carburadores, alívios de carter e do cano de escapamento. Para estes controles trabalharem efetivamente, é necessário que o motor regulado e o carburador seja ajustado adequadamente. Um motor regulado inadequadamente resultará altas emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos e uma baixa economia de combustível. O carburador controla a relação ar combustível do veículo. Se a relação de ar combustível for muito alta, quantidades maiores de óxidos de nitrogênio serão emitidas, enquanto que com relações de ar combustível baixa, aumentará a quantidade de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, assim como aumento do consumo de combustível.

Carros não mantidos significam alto consumo de combustível e dessa forma, desperdício de dinheiro e maior emissão de poluentes.

A combustão incompleta é a maior causa da poluição do ar, embora a combustão completa resulte na emissão de compostos não danosos de dióxido de carbono, vapor de água e cinzas. Nenhum processo de combustão é completo.

Alguns poluentes são ainda liberados independentes se eles são provenientes da queima de carvão e óleo em termoelétricas, fábricas, veículos a gasolina, lixo em incineradores e queima de vegetação. Entretanto se no mundo nós não mais queimássemos combustíveis, a maioria da nossa eletricidade e transporte estaria parada, principalmente nos países frios onde a necessidade de aquecimento é prioritária.

Os processos industriais tem uma grande participação na poluição no ar. Devido à tremenda diversidade dos produtos das indústrias, seus processos geram uma grande taxa de poluentes. As principais indústrias que contribuem para poluição do ar são as indústrias de petróleo e combustíveis, a de produtos químicos e a metalúrgica.

As emissões provenientes da queima de resíduos sólidos são relativamente pequenas mas deverão cada vez mais aumentar a sua significância devido aos problemas da destinação de resíduos sólidos.

E) EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR

E.1 Saúde humana

A poluição do ar pode afetar o homem e seu ambiente de diversas formas. Quando a concentração dos poluentes do ar aumenta, sem ser o mesmo, adequadamente disperso devido a meteorologia, topografia e outros fatores,

sérios problemas de saúde acabam ocorrendo. Alguns episódios agudos ocorreram no passado Exemplo: Vale do Rio Meuse na Bélgica em 1930; Donora, Pensilvânia, em 1948; Londres, Inglaterra, 1952; e na cidade de Nova York, 1966. Em cada caso, uma inversão térmica segurou os poluentes próximos da superfície da terra causando mais morbidade e mortalidade do que o usual, especialmente, entre os mais velhos e naqueles já possuidores de condições cardiológicas e pulmonares deficitárias.

Embora as estimativas de mortalidade devido à poluição do ar variem de 0,1% para 10%, mesmo o efeito de 0,1% da poluição do ar corresponderia a 15 mil mortes anuais. Estes dados são indicativos da poluição norte americana e estimados pela Academia Nacional de Ciências do Estados Unidos. No Brasil tais informações não existem e principalmente nas grandes cidades deveriam ser levantadas. As pessoas que vivem nas áreas urbanas têm um maior risco por estarem expostas aos poluentes do ar que podem afetar o seu bem estar.

O trato respiratório é afetado pela poluição do ar. A cília do nariz e das superfícies internas que levam até os pulmões pode coletar as partículas maiores dos poluentes; entretanto, as partículas menores e os gases são capazes de entrar nos pulmões. Quando nós respiramos, os alvéolos, transformam o oxigênio em dióxido de carbono. A poluição pode causar em alguns desses alvéolos o aumento de seu volume, alterando sua resiliência, de forma que a respiração fica mais difícil. Os poluentes do ar podem também diminuir ou até parar a ação das cílias, que normalmente carregam muco e os poluentes no trato respiratório. O muco pode engrossar ou aumentar e as vias respiratórias podem ficar entupidas. Os problemas de respiração podem aparecer por causa de uma ou mais dessas reações. Também, os microorganismos e outros materiais estranhos podem ser suficientemente removidos, fazendo o trato respiratório suscetível a infecções.

A poluição do ar tem sido associada com doenças respiratórias crônicas. Os poluentes do ar podem causar ataques de asma brônquica. Durante tais ataques, ocorre o estreitamento temporário das vias áreas menores (bronquíolos) produzido por um espasmo do músculo, um aumento das secreções de mucos, ou encolhimento da membrana mucosa. Os poluentes do ar agravam tanto a bronquite crônica como o enfisema pulmonar. Na bronquite crônica, uma quantidade anormal de muco é produzida no brônquio, resultado de tosse contínuas. O enfisema pulmonar é caracterizado pela quebra das paredes do alvéolo. Durante essa doença, um dano irreversível aos tecidos ocorrerá. O alvéolo aumenta, perde a sua resiliência e se desintegra. Respiração curta é sintoma dessa doença. No câncer do pulmão, existe um crescimento anormal de células originando a membrana mucosa do brônquio. Embora improvável que câncer do pulmão seja produzido por uma só causa, os poluentes do ar podem paralisar a cília e permitir que substâncias carcinogênicas permaneçam em contato com as células do brônquio mais tempo que o normal. Alguns poluentes

do ar têm sido identificados como substâncias capazes de causar câncer, por hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, benzopireno).

Existe uma associação próxima entre o sistema respiratório e circulatório. Se o sistema respiratório é afetado por uma doença e não pode trocar os gases no sangue completamente, o coração precisa trabalhar mais intensamente para bombear sangue suficiente para repor as perdas de oxigênio. Como resultado, o coração e os vasos sanguíneos estarão sob “stress” e poderão surgir algumas mudanças como aumento do tamanho do coração. Porque o monóxido de carbono pode reduzir o conteúdo de oxigênio no sangue, este poluente pode exigir uma carga maior para pessoas com anemia ou doenças cardio respiratórias.

Os poluentes do ar podem ter outros efeitos que incluem: ardimento e lacrimejamento dos olhos, visão embaçada, tontura, dor de cabeça, irritação na garganta, espirros alérgicos e tosse e diminuição de desempenho corporal.

Os poluentes naturais que causam efeitos sobre a saúde humana são os aeroalérgicos. Os aeroalérgicos consistem principalmente de pólenes mas também incluem bactérias, mofo, póros, poeira de casa, fibras vegetais etc. Acima de 10% da população exposta é afetada por aeroalérgicos. O principal efeito sobre a saúde: rinite alérgica e/ou asma brônquica com alteração do tecido reversível. Estes poluentes naturais, através de complicações infecciosas, podem agravar os efeitos sobre a saúde, causados pelos poluentes gerados pelo homem.

Os pólenes das plantas, em particular alguns, produzem o mais importante dos alérgicos. Várias medições de pólenes são realizadas diariamente nos Estados Unidos principalmente nas estações onde há maior ocorrência. Essas medições servem como um indicador das quantidades de alérgicos do ar. Os animais podem também ser afetados pelos poluentes do ar. No passado, quando episódios agudos da poluição do ar produziam doenças nos homens, vários animais também tornavam-se seriamente doentes e alguns morriam. Entretanto, os efeitos parecem ocorrer de forma variada, de acordo com a espécie do animal.

As tabelas A, B, C, D, E e F, mostram os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana.

A tabela G mostra os padrões de qualidade do ar adotados pela EPA (Environmental Protection Agency - U.S.A).

O quadro 1 e a figura 1 apresentam o programa de avaliação e controle de PTA's (poluentes tóxicos do ar) e pirâmide invertida de PTA. Verificamos que a atual tendência no mundo é a de controlar poluição através da qualidade do contaminante, ou seja, a sua toxicidade.

E. 2. Vegetação

Várias plantas são sensíveis para os poluentes do ar. Algumas são usadas como indicadores de poluentes do ar porque elas demonstram um tipo característico de dano para um poluente específico. Os poluentes do ar entram nas folhas das plantas principalmente através dos seus poros ou estômatos. A extensão dos danos varia devido a vários fatores: as características dos poluentes (concentração, duração, propriedades físicas e químicas etc); condições climáticas (temperatura, intensidade de luz, precipitação etc); condições do solo (umidade, nutrientes etc) e fatores biológicos (estágio de desenvolvimento, composição genética, insetos, doenças etc). Os poluentes do ar afetam vários tipos de vegetação, incluindo as plantações na agricultura. Eles também afetam a agricultura através da diminuição do valor do produto (a qualidade pode ser afetada e a época de venda pode ser adiantada ou atrasada), ou aumenta o custo da produção (decréscimo do valor da plantação, pela necessidade de uso de fertilizantes e irrigação etc.)

Diferentes espécies de vegetação e variedades dentro das espécies diferem na sua suscetibilidade a poluentes particulares. Os principais poluentes que causam danos às plantas e algumas das espécies que são afetadas estão listadas na tabela H. (resumo de poluentes, sintomas e vegetação afetada.)

E.3 Materiais

Os poluentes do ar podem corroer e escurecer metais; quebrar a borracha; sujar roupas; móveis, prédios etc; erodir prédios, monumentos etc; descolorir vários tipos de materiais; enfraquecer algodão, lã e fibra de seda e destruir o nylon.

Os gases reativos, tais como o ozônio e o dióxido de enxofre, assim como os ácidos, tais como nítrico e sulfúrico, são principalmente responsáveis por danificar tecidos, descolorir tingimentos, escurecer metais, enfraquecer a borracha, e erodir prédios. O material particulado é o principal responsável pela sujeira do nosso meio ambiente.

E.4 Tempo

A poluição do ar pode reduzir visibilidade e criar danos para o transporte. A diminuição da visibilidade é facilmente observada e é especialmente danosa para locais com paisagens turísticas tais como o Grande Canyon das Montanhas Rochosas nos Estados Unidos tornando-as menos visíveis. A diminuição da visibilidade também reduz o alcance visual dos objetos do nosso meio. Se os poluentes ou as coisas naturais não estivessem presentes, o alcance visual ao

nível do mar seria limitado somente pela topografia ou pela dispersão de luz ou gases e neblina que ocorre naturalmente.

A poluição do ar pode também causar a descoloração da atmosfera. Isto pode ser observado em várias cidades do Brasil mais principalmente na cidade de São Paulo com a sua nuvem marrom escurecida. Esta nuvem é particularmente observável porque impede a vista de toda cidade a uma distância de mais de 15 quilômetros. A diminuição da visibilidade e a cor amarronzada em São Paulo e algumas cidades do Brasil são causadas pela dispersão da luz por particulados bastantes pequenos para serem vistos sem o auxílio de um microscópio. Estes particulados têm diâmetros entre 0,3 μ (1/33.000 do centímetro) até 1,0 μ (1/1.000 do centímetro). Em alguns lugares, a descoloração amarronzada é aumentada pelo dióxido de nitrogênio que é amarronzado.

As fontes móveis estacionárias emitem material particulado, em geral muito pequeno que permite dispersão da luz. Também, sobre certas condições, o dióxido de enxofre e hidrocarbonetos e o dióxido de nitrogênio emitidos destas fontes podem promover reações químicas na presença da luz e produzem muito mais particulados. Isto leva a formação de grandes áreas com centenas de quilômetros totalmente encobertas por um névoa. Para complicar o cenário, o processo de remoção destes particulados da atmosfera é extremamente lento na ausência de chuva. Eles podem viajar centenas de quilômetros das suas fontes e afetar outras áreas incluindo áreas rurais com poucas fontes de poluentes é certamente o maior efeito visível na nossa atmosfera. Existem, entretanto, vários outros efeitos conhecidos, ou postos de lado, alguns dos quais podem ser potencialmente mais sérios. São eles:

- a) Aumento da formação de neblina: normalmente, a neblina ocorre quando a umidade relativa alcança 100%. Entretanto, certos particulados tais como sulfatos e nitratos atraem água e podem formar neblina com umidade relativa levemente abaixo de 100%.
- b) Aumento na precipitação: A maioria dos particulados de pequeno tamanho serve como um excelente núcleo na formação de nuvens de gotas. Consequentemente isto pode causar o aumento na precipitação à jusante de grandes fontes de material particulado.
- c) Alteração da temperatura global da Terra: existem dois fatores opostos para serem considerados: primeiro, as concentrações de dióxido de carbono (CO₂) vem aumentando constantemente nas últimas décadas. O dióxido de carbono é emitido por todos os processos de combustão; entretanto, não é considerado um poluente do ar. Uma vez que o CO₂ dificulta a passagem do aquecimento solar na baixa atmosfera, o aumento de CO₂ pode induzir ao aumento da temperatura global da Terra. Alguns cientistas acham que isto poderia levar a um derretimento parcial da calota

polar o que causaria um aumento no nível dos oceanos com ocorrência de enchentes em certas cidades costeiras.

O segundo fator para ser considerado é o efeito dos particulados de pequeno tamanho que interceptam parte da energia do sol impedindo-a de alcançar a superfície da Terra. Isto poderia promover uma diminuição da temperatura da superfície terrestre.

Essas teses ainda não foram confirmadas. Entretanto como as emissões aumentam, existe uma grande probabilidade de que alguns destes efeitos se confirmem rapidamente.

- d) Esgotamento do ozônio na atmosfera: 25 quilômetros acima da superfície da terra na estratosfera, existe uma camada natural de ozônio. Esta camada de ozônio é extremamente importante para a vida, porque ela absorve a maioria da radiação ultra violeta do sol. A maior parte da vida na Terra pereceria se essa camada fosse eliminada. Os gases de exaustão das aeronaves que voam na estratosfera, os aviões super sônicos e os flúor carbono são principalmente responsáveis pela diminuição do ozônio. O flúor carbono têm vários usos. Os mais comuns são o sistema de ar condicionado e de refrigeração, usos industriais e latas de aerossóis. Estes produtos químicos são extremamente inertes e não destruídos facilmente pelo processos naturais, exceto pela radiação ultra violeta. Consequentemente, como os flúor carbono são liberados na atmosfera, eles se acumulam. Esses flúor carbonos eventualmente migram para a camada de ozônio. Não é conhecido quanto de ozônio será destruído por este processo, mais alguns cientistas pensam que isso resultará em um aumento do câncer de pele. Consequentemente os flúor carbonos estão sendo proibidos em muitos dos seus usos.

F. MÉTODOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR

Nós estamos expostos a nossa atmosfera todo dia. Uma vez que nós somos contribuidores e receptores da poluição no ar; nós temos a responsabilidade de manter o nosso ar o mais limpo possível. O controle da poluição do ar é necessário para prevenir a ocorrência de danos à saúde. Com o aumento do desenvolvimento industrial, urbanização e aumento do uso automotivo etc., foram adotadas legislações e regulamentos locais, estaduais e federais para limitar a quantidade de poluentes no ar. Como resultado, medidas de controle são usadas para manter as emissões de poluentes dentro destes limites.

O monitoramento da poluição do ar é feito por agências de controle da poluição e firmas privadas para determinar a eficácia destas medidas de controle.

A poluição do ar pode ser controlada de várias formas:

a) Prevenindo a formação de poluentes de ar:

- alterar ou substituir o combustível ou uso da matéria prima (exemplo: troca de combustível de alto conteúdo de enxofre para um de baixo conteúdo de enxofre; uso de gás natural ou combustível dessulfurizado ao invés de carvão ou combustível com alto conteúdo de enxofre; alteração na forma de um produto de maneira que na sua produção possamos produzir menor poluição);
- mudança no processo de fabricação (exemplo: redução do excesso de ar quando na queima com combustíveis fósseis com o intuito de reduzir a formação e emissão de óxido de nitrogênio);
- mudança do equipamento (exemplo: troca de um forno velho por um outro projetado para uma combustão mais completa);
- melhoria nos procedimentos de operação e manutenção (exemplo: manter os veículos automotores adequadamente regulados e os fornos e incineradores adequadamente ajustados; operar a caldeira de acordo com as especificações do seu fabricante).
- enclausuramento de uma operação (exemplo: uso de tetos flutuantes ao invés de tetos fixos em tanques de armazenamentos de óleos combustíveis e outras substâncias voláteis em refinarias).

b) Diminuição das concentrações dos poluentes de ar pelo aumento da sua dispersão.

- Selecionar o lugar que tenha boa ventilação (exemplo: as condições do tempo tais como velocidade do vento e altura da camada de inversão variam consideravelmente de lugar para lugar. Consequentemente antes de uma indústria ser construída, a sua localização deve ser escolhida de modo a se obter uma boa ventilação, fortes ventos, e uma pequena ocorrência de inversões térmicas. Por exemplo, nos vales haverá a grande possibilidade de uma baixa ventilação devido à ocorrência de inversões de baixo nível, eventos calmos são comuns na chegada da noite e nas manhãs. Tais condições produziram o tamponamento dos poluentes próximos à superfície da Terra. Uma colina bem ventilada deve ser o local melhor escolhido).
- construir chaminés mais altas que diluiriam os poluentes do ar pela dispersão sobre uma área maior, embora a quantidade total de poluente do ar a ser emitida continue a mesma (deve ser mencionado que este

método era muito empregado no passado. Recentemente, entretanto, foi descoberto que em muitos casos essa prática aumentou as concentrações de poluentes a muitos quilômetros a jusante da fonte).

3. Controlar os poluentes do ar antes deles atingirem a atmosfera

- a) Vários equipamentos de controle podem ser instalados para eliminar, coletar ou alterar os poluentes do ar. Esses equipamentos são descritos a seguir:

Os particulados menores podem ser removidos em câmaras de sedimentação.

Esses particulados suspensos passarão rapidamente através de um duto estreito e entrarão em uma câmara de sedimentação maior onde a gravidade promoverá a sua queda ao fundo do equipamento.

Os particulados menores devem ser removidos por equipamentos de controle da poluição do ar mais efetivos tais como coletores inerciais.

Os coletores ciclônicos são um tipo de coletor inercial no qual o fluxo de poluentes suspensos no ar é introduzido em uma câmara cilíndrica girando a alta velocidade. Isto forçaria muitos desses particulados contra a parede da câmara cilíndrica fazendo-os cair e serem coletados.

Os filtros de manga também removem os particulados; eles são basicamente grandes aspiradores de pó. Os poluentes suspensos no ar passam através do filtro de tecido que segura o particulado na sua fibra.

O mais efetivo e também mais caro método para o controle dos particulados é o precipitador eletrostático o qual em situações reais, pode remover 99,9% de todos os particulados que entram em contato com ele. Como os poluentes do ar suspensos passam através do precipitador eletrostático, os particulados recebem uma carga elétrica. Assim, eles serão atraídos através de tubos ou placas coletoras onde são neutralizados e depositados em um coletor de particulados.

Os lavadores são também conhecidos como coletores de particulados de pequeno tamanho. Entretanto, eles podem criar problemas de poluição nas águas quando o líquido residual contaminado tiver sido disposto. Existem vários tipos de lavadores envolvendo várias técnicas que usam o líquido para lavar ou dissolver os poluentes.

Os poluentes gasosos são removidos por absorção, incineração ou oxidação e condensação. Na absorção, os poluentes gasosos são

removidos através de passagem por um líquido que reage com ele quimicamente.

A absorção remove certos poluentes gasosos no ponto da sua passagem através de um sólido poroso tal como o carvão ativado. O gás é atraído e acaba aderindo a esse sólido.

Na incineração ou oxidação, os hidrocarbonetos não queimados são convertidos para dióxido de carbono e água. O processo de incineração produz combustão completa pelo uso de equipamentos chamados pós-queimadores que destroem hidrocarbonetos a altas temperaturas com o adequado tempo de retenção e de mistura. Outros equipamentos de oxidação são chamados conversores catalíticos, onde os hidrocarbonetos e monóxido de carbono passam sobre um material catalítico sólido que causará sua reação com o oxigênio para formar dióxido de carbono e água.

No processo de condensação, os poluentes gasosos são resfriados até sua condensação na forma líquida, quando então são removidos.

ANEXOS

EFETIVOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS SOBRE A SAÚDE HUMANA

a) Partículas não Tóxicas

Concentração de partículas em ug/m ²	Efeitos
2.000 g/m ³ com 0,4 ppm de SO ₂ (média de 24 horas) vários dias de episódio	Aumento de mortes devido à bronquite
1.000 g/m ³ com 0,25 ppm de SO ₂ durante episódios	Aumento da mortalidade devido à doenças respiratórias e cardíacas
300 g/m ³ com 0,21 ppm SO ₂ (média de 24 horas)	Aumento na frequência e gravidade das doenças do trato respiratório
130 g/m ³ com SO ₂ (média anual)	Aumento de incidência de bronquites
100-200 g/m ³ com 0,05 a 0,08 ppm SO ₂ (média dos níveis da estação)	Aumento de incidência de bronquites

b) Ozona

Concentração de ozona em ppm	Efeitos
0,10 (1 hora)	Dificuldade de respirar
0,30 (8 horas)	Irritação no nariz, garganta e dores no peito
2,00 (2 horas)	Tosse muito forte

c) Dióxido de Nitrogênio

Concentração do NO₂ em ppm	Efeitos
150 ppm (5 a 8 minutos)	Potencial fatal
50 a 100 ppm (1 hora)	Pode causar broncopneumonia com provável recuperação
10 a 40 ppm (exposição intermitente)	Pode causar fibrose crônica e enfisema pulmonar
0,05 a 0,10 ppm (exposição crônica)	Evidência de aumento de bronquite crônica
0,05 ppm (exposição longa)	Evidência de aumento de doenças do pulmão e coração em geral

d) Dióxido de Enxofre

Concentração do SO₂ em ppm	Efeitos
0,52 com particulados (média de 24 horas)	Aumento da mortalidade
0,25 com fumaça (3 a 4 dias média de 24 horas)	Aumento da mortalidade
0,25 com particulados (3 a 4 dias média de 24 horas)	Aumento de doenças nos idosos
0,19 com baixa concentração de particulados	Aumento de mortalidade
0,11 a 0,19 com baixa concentração de particulados (vários dias de episódios)	Aumento de internação
0,037 a 0,092 com fumaça (exposição crônica)	Aumento de problemas respiratórios e doenças do pulmão

e) Monóxido de Carbono

Concentração de CO em ppm	Efeitos
Concentrações maiores que 100 ppm (10 minutos)	'stress' fisiológico em pacientes com doenças do coração
100 ppm (intermitente)	diminuição de desempenho em teste psicomotor
50 ppm (para 90 minutos)	diminuição no intervalo de tempo de discriminação para não fumantes
30 ppm (acima de 12 horas)	carbono elevado nos níveis de hemoglobina com redução do transporte de oxigênio

f) Oxidantes Fotoquímicos

Concentração em ppm	Efeitos
0.10 (30 minutos)	Irritação nos olhos
0.13 (24 horas)	Agravamento das doenças respiratórias
0.03 (1 hora)	Diminuição de performance física
0.09 (1 hora)	Diminuição de capacidade respiratória

PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

G - PADRÕES DE QUALIDADE DO AR ADOTADOS PELA CETESB/IBAMA

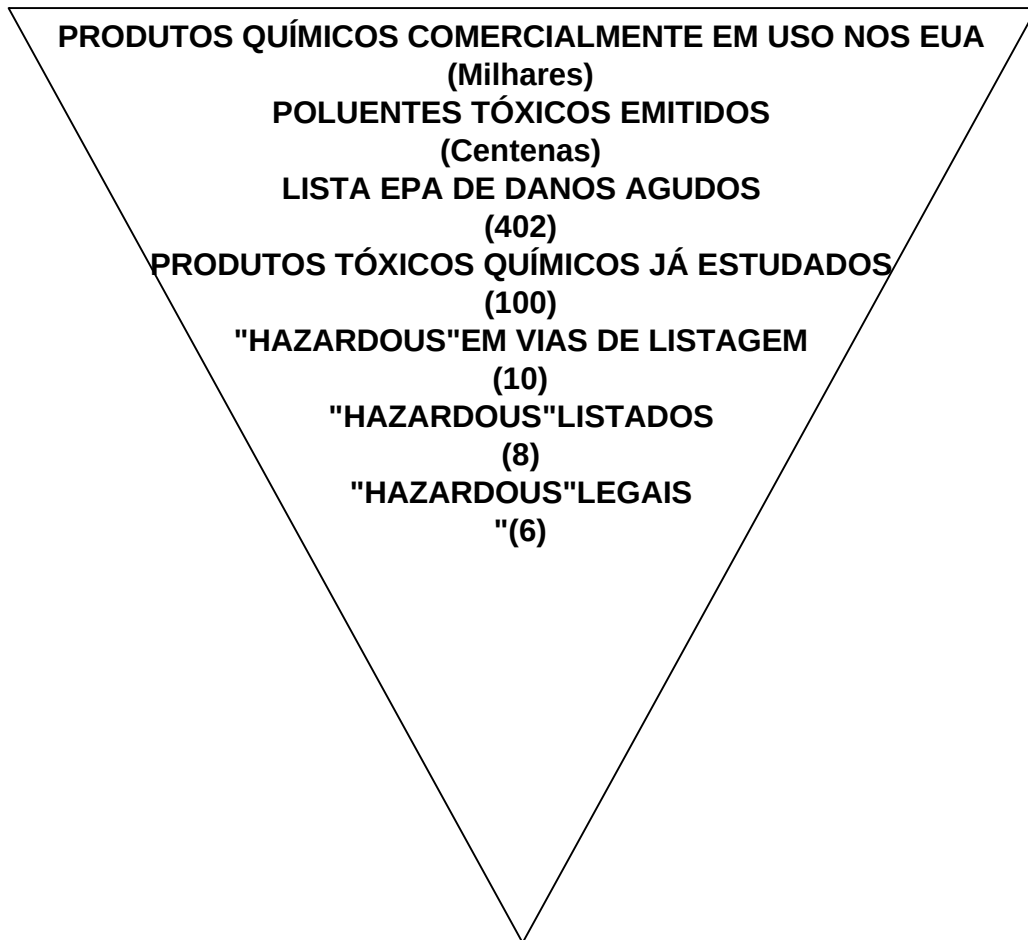
Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário (ug/m³)	Método de medição
Dióxido de enxofre	24 hs média aritmética anual	365 80	Pararosanilina
Partículas totais em suspensão	24 hs média geométrica anual	240 80	Amostrador de grande volumes
Partículas respiráveis em suspensão	24 hs média geométrica anual	150 50	Amostrador de grandes volumes (PM-10)
Monóxido de carbono	1 h 8 hs	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	Infra - vermelho Não dispersivo
Ozona	1 h	235 (0,12 ppm)	Quimioluminescencia
Hidrocarbonetos (menos metano)	3 hs (6 h as 9 h)	160 (0,24 ppm)	Cromatografia gasosa/ionização de chama
Dióxido de nitrogênio	Média aritmética anual	100	Quimioluminescencia
Chumbo*	90 dias	1,5	Absorção atômica

*Padrão adotado pela EPA

H - EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR NA VEGETAÇÃO

Poluentes	Sintomas característicos	Mínima concentração para dano		
		ppm (vol)	u/m ³	Tempo de exposição
Dióxido de enxofre	Manchas esbranquiçadas, áreas descoloridas entre veias, clorose (amarelamento).	0.3	785	8 horas
Ozona	Marcas esbranquiçadas, pigmentação, as pontas das coníferas tornam-se amarronzadas e necróticas	0.03	59	4 horas
Nitrato de Piroxiacetila	Espelhamento, prateamento ou bronzeamento na parte inferior das folhas	0.01	50	6 horas
Dióxido de Nitrogênio	Lesões irregulares, brancas ou marrons, no tecido intercostal e próxima à margem das folhas	2,5	4.700	4 horas
Fluoreto de hidrogênio	Queimaduras nas pontas e nas margens. Diminuição do crescimento. Abcesso na folha, faixa estreita vermelha amarronzada separa áreas necrosadas do tecido verde	0.1 ppb	0.08	5 semanas
Etileno	Necrose de parte do cálice em orquídeas, anormalidades nas folhas, queda de flores e falta de abertura das folhas. Abcesso	0.05	58	6 horas
Cloro	Branqueamento entre veias das folhas Queimadura nas pontas e margens. Abcesso nas folhas, danos similares ao da ozona	0.10	296	2 horas
Amônia	Aparência verde forte, tornando-se marrom ou verde comum ao secar, pode ocorrer escurecimento geral em algumas espécies	-20	14000	4 horas
Ácido clorídrico	Necrose tipo ácida queimadura de pontas em algumas espécies, necrose da margem das folhas de plantas tipo folhas largas	-5-10	11200	2 horas
Gás sulfídrico	Chamuscamento bosal e marginal	20	28000	5 horas
Ácido sulfúrico	Pontos necróticos na superfície superior da folha similar a lesões de compostos ácidos ou básicos	--	--	---

FIGURA 1. PIRÂMIDE INVERTIDA DA EPA



QUADRO 1 – PROGRAMA DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DE PTA's (EPA)

Priorização de saúde Preliminar	Estudo detalhado	Regulamentação (Estudo)	Regulamentação (Final)	Hazardous Proposto	Hazardous Legal
Ox. Propileno	Dibenzofurano	Dioxina	Emissões de forno coque	Arsênio	Mercúrio berílio asbestos
Cl ₂ e HCl	Fosgênio	Vapor de gasolina	tolueno		Cl. Vinila
Amonea	Acetaldeído		POM		Benzeno
Zn e ZnO	Acroleína	Fenois	CFC.113		Radionuclídeos
Estireno	Ac. Sulfídrico	Formaldeído	Epíclorohidrina		
Naftaleno			Manganês		
Diisocianato de Tolueno			Clorobenzeno		
Xilenos			Cloreto Vinilideno		
Cloreto de dietila			Hexaclorociclopentadieno		
Metacrilato de metila			Cloropreno		
Anidrido maleico			Acrilonitrila dicloreto etileno		
Anidrido ftálico			Cromo cádmio		
Cobre			CCL4		
Isocianato de metila			1.3- Butadieno óxido de etileno		
Fibras minerais			CL. de metileno percloroetileno cloroformio tricloroetileno		

BIBLIOGRAFIA

- 1** Williamson, S.J. The Atmosphere (pp. 56-69) in "Fundamentals of Air Pollution", Addison Wesley Publishing Co., Reading, MA.
- 2** FAITH, W. and A. A. Atkisson, Jr. Meteorology (pp. 30-59) in Air Pollution, Wiley Interscience, NY, 1972.
- 3** U.S. Environmental Protection Agency. Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides, Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC, 1980.
- 4** U.S. Environmental Protection Agency. Air Quality Criteria for Ozone and other Photochemical Oxidants, EPA No.600/8-78-004, Washington, DC, 1978.
- 5** U.S. Environmental Protection Agency. Acid Rain. EPA-600/8-79-028, Office of Research and Development, Washington , DC, 1979.
- 6** LEDBETTER, J. O. Air Pollution, Part, A- Analysis, Marcel Dekker, Inc., NY. 424 pp., 1972.
- 7** LEWIS, A. Pollution Disasters (pp. 35-38) in "Clean the Air", MacGraw-Hill, 1965.
- 8** LEDBETTER, J. O. Air Pollution, 1972.
- 9** STERN, A. C. (ed.), Air Pollution, 2 ed., Academic Press, New York, NY, 1968.
- 10** WILLIAMSON, S. J. Fundamentals of Air Pollution, Addison- Wesley Pub. Co., Reading, MA, **1973**.